

10/517655

Rec'd PCT/PTO 13 DEC 2004  
PCT/JP 03/07320日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

10.06.03

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2002年 6月13日

出 願 番 号  
Application Number: 特願2002-173268  
[ST. 10/C]: [JP2002-173268]

REC'D 25 JUL 2003

WIPO PCT

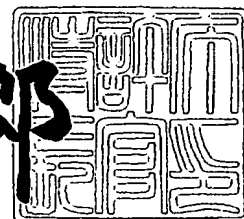
出 願 人  
Applicant(s): 信越半導体株式会社

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 7月 9日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



【書類名】 特許願

【整理番号】 0200040

【提出日】 平成14年 6月13日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G01B 11/24

【発明者】

【住所又は居所】 福島県西白河郡西郷村大字小田倉字大平 1 5 0 番地 信  
越半導体株式会社 半導体白河研究所内

【氏名】 佐藤 正和

【発明者】

【住所又は居所】 福島県西白河郡西郷村大字小田倉字大平 1 5 0 番地 信  
越半導体株式会社 半導体白河研究所内

【氏名】 大西 理

【特許出願人】

【識別番号】 000190149

【氏名又は名称】 信越半導体株式会社

【代理人】

【識別番号】 100102532

【弁理士】

【氏名又は名称】 好宮 幹夫

【電話番号】 03-3844-4501

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 043247

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9703915

【プルーフの要否】

要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体ウエーハの形状評価方法及び形状評価装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 半導体ウエーハの形状を評価する半導体ウエーハの形状評価方法であって、半導体ウエーハの表面及び／または裏面を走査して半導体ウエーハの形状データを測定し、測定した形状データを微分処理して微分プロファイルを算出し、得られた微分プロファイルの解析を行ってウエーハの表面特性を求めることにより半導体ウエーハの形状を評価することを特徴とする半導体ウエーハの形状評価方法。

【請求項 2】 前記半導体ウエーハの表面特性を、少なくとも、半導体ウエーハの外周部について求めることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体ウエーハの形状評価方法。

【請求項 3】 前記半導体ウエーハの形状データを、半導体ウエーハの表面及び／または裏面を 1 mm 間隔以下で走査することによって測定することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の半導体ウエーハの形状評価方法。

【請求項 4】 前記半導体ウエーハの形状データを、半導体ウエーハ面の変位データ及び／または半導体ウエーハの厚さデータとすることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 3 のいずれか一項に記載の半導体ウエーハの形状評価方法。

【請求項 5】 前記半導体ウエーハ面の変位データを、半導体ウエーハを非吸着で載置した際のウエーハ表面または裏面の厚さ方向の面の変位とすることを特徴とする請求項 4 に記載の半導体ウエーハの形状評価方法。

【請求項 6】 前記半導体ウエーハの厚さデータを、半導体ウエーハの一主表面全体を吸着した際のウエーハの他方の主表面の厚さ方向の面の変位とすることを特徴とする請求項 4 に記載の半導体ウエーハの形状評価方法。

【請求項 7】 前記半導体ウエーハ面の変位データを、半導体ウエーハの一部をウエーハ支持具で吸着した際のウエーハ表面及び裏面の厚さ方向の面の変位とし、また前記半導体ウエーハの厚さデータを、半導体ウエーハの一部を吸着した際のウエーハ表面と裏面の面の変位データの差とすることを特徴とする請求項 4 に記載の半導体ウエーハの形状評価方法。

【請求項 8】 前記測定した形状データの微分処理は、先ず前記測定した形状データから半径方向に沿った形状プロファイルを作成し、該形状プロファイルを任意の位置を基準として一定間隔で微分して微分プロファイルを算出することによって行われることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 7 のいずれか一項に記載の半導体ウエーハの形状評価方法。

【請求項 9】 前記微分プロファイルとして、前記形状プロファイルを任意の位置を基準として一定間隔で微分して 1 階微分プロファイルを算出した後、さらに該 1 階微分プロファイルを一定間隔で微分して算出した 2 階微分プロファイルを用いることを特徴とする請求項 8 に記載の半導体ウエーハの形状評価方法。

【請求項 10】 前記形状プロファイルの微分を 1 mm 間隔で行うことを特徴とする請求項 8 または請求項 9 に記載の半導体ウエーハの形状評価方法。

【請求項 11】 前記 1 階微分プロファイルの微分を 1 mm 間隔で行うことを特徴とする請求項 9 または請求項 10 に記載の半導体ウエーハの形状評価方法。

【請求項 12】 前記微分プロファイルを算出する際に、長波長成分及び／または測定ノイズの除去を行うことを特徴とする請求項 8 ないし請求項 11 のいずれか一項に記載の半導体ウエーハの形状評価方法。

【請求項 13】 前記長波長成分の除去を、最小自乗法近似またはハイパスフィルターを施すことによって行うことを特徴とする請求項 12 に記載の半導体ウエーハの形状評価方法。

【請求項 14】 前記測定ノイズの除去を、移動平均またはローパスフィルターを施すことによって行うことを特徴とする請求項 12 に記載の半導体ウエーハの形状評価方法。

【請求項 15】 前記半導体ウエーハの表面特性を、前記算出した微分プロファイルの最外点を最外データポイント A 1 とし、該最外データポイント A 1 からウエーハ中心方向に微分プロファイルを走査して最初に零となる位置をロールオフ (Roll Off) 開始点 B 1 として検出し、該ロールオフ開始点 B 1 を基準に解析を行うことによって求めることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 14 のいずれか一項に記載の半導体ウエーハの形状評価方法。

【請求項 16】 前記半導体ウエーハの表面特性を、前記算出した微分プロフ

ファイルの最外点を最外データポイントA1とし、該最外データポイントA1からウエーハ中心方向に微分プロファイルを走査して最大値となる位置をフリップアップ (Flip Up) 最大スロープ位置C1として検出し、該フリップアップ最大スロープ位置C1を基準に解析を行うことによって求めることを特徴とする請求項1ないし請求項15のいずれか一項に記載の半導体ウエーハの形状評価方法。

【請求項17】 前記半導体ウエーハの表面特性を、前記算出したフリップアップ (Flip Up) 最大スロープ位置C1からウエーハ中心方向に微分プロファイルを走査して最初に零となる位置をフリップアップ (Flip Up) 開始点D1として検出し、該フリップアップ開始点D1を基準に解析を行うことによって求めることを特徴とする請求項16に記載の半導体ウエーハの形状評価方法。

【請求項18】 前記半導体ウエーハの表面特性を、前記微分プロファイルとして算出した2階微分プロファイルの最外点を最外データポイントA2とし、該最外データポイントA2からウエーハ中心方向に2階微分プロファイルを走査して最初に零となる位置をフリップアップ (Flip Up) 最大スロープ位置C2として検出し、該フリップアップ最大スロープ位置C2を基準に解析を行うことによって求めることを特徴とする請求項9ないし請求項17のいずれか一項に記載の半導体ウエーハの形状評価方法。

【請求項19】 前記微分プロファイルに、しきい値を設定してウエーハ形状の局所的異常値を検出することを特徴とする請求項1ないし請求項18のいずれか一項に記載の半導体ウエーハの形状評価方法。

【請求項20】 前記しきい値を $\pm 0.01 \mu\text{m}/\text{mm}$ に設定することを特徴とする請求項19に記載の半導体ウエーハの形状評価方法。

【請求項21】 前記半径方向に沿って求めた半導体ウエーハの表面特性を、ウエーハ全周に渡って求めることを特徴とする請求項8ないし請求項20のいずれか一項に記載の半導体ウエーハの形状評価方法。

【請求項22】 前記半導体ウエーハ全周に渡る表面特性を、ウエーハ中心角が $1^\circ$ 以下の間隔で求めることを特徴とする請求項21に記載の半導体ウエーハ

の形状評価方法。

【請求項 2 3】 半導体ウエーハの形状を評価する半導体ウエーハの形状評価装置であって、少なくとも、半導体ウエーハの形状データを測定する形状測定手段と、該測定された形状データを保存する記憶手段と、該保存した形状データを微分処理して微分プロファイルを算出する微分処理手段と、該算出した微分プロファイルを解析することによりウエーハの表面特性を求める表面特性算出手段を有することを特徴とする半導体ウエーハの形状評価装置。

【請求項 2 4】 前記形状測定手段が、前記形状データとして、非吸着で載置された半導体ウエーハの表面又は裏面の厚さ方向の面の変位を測定することによって、面の変位データを求めるものであることを特徴とする請求項 2 3 に記載の半導体ウエーハの形状評価装置。

【請求項 2 5】 前記形状測定手段が、前記形状データとして、一主表面全体が吸着された半導体ウエーハの他方の主表面の厚さ方向の面の変位を測定することによって、厚さデータを求めるものであることを特徴とする請求項 2 3 に記載の半導体ウエーハの形状評価装置。

【請求項 2 6】 前記形状測定手段が、前記形状データとして、ウエーハ支持具により半導体ウエーハの一部が吸着された半導体ウエーハの表面と裏面の厚さ方向の面の変位を測定することによって面の変位データを求め、求めたウエーハ表面と裏面の面の変位データの差を測定することによって厚さデータを求めるものであることを特徴とする請求項 2 3 に記載の半導体ウエーハの形状評価装置。

【請求項 2 7】 前記微分処理手段が、前記形状データから半径方向に沿った形状プロファイルを作成し、該形状プロファイルを任意の位置を基準として一定間隔で微分して微分プロファイルを算出するものであることを特徴とする請求項 2 3 ないし請求項 2 6 のいずれか一項に記載の半導体ウエーハの形状評価装置。

【請求項 2 8】 前記微分処理手段が、前記形状プロファイルを任意の位置を基準として一定間隔で微分して 1 階微分プロファイルを算出した後、さらに該 1 階微分プロファイルを一定間隔で微分して 2 階微分プロファイルを算出するものであることを特徴とする請求項 2 7 に記載の半導体ウエーハの形状評価装置。

【請求項 2 9】 前記微分処理手段が、長波長成分及び／または測定ノイズの

除去を行うものであることを特徴とする請求項 2 3 ないし請求項 2 8 のいずれか一項に記載の半導体ウエーハの形状評価装置。

【請求項 3 0】 前記表面特性算出手段が、前記微分プロファイルの最外点を最外データポイント A 1 とし、該最外データポイント A 1 からウエーハ中心方向に微分プロファイルを走査して最初に零となる位置をロールオフ (R o l l O f f) 開始点 B 1 として検出し、該ロールオフ開始点 B 1 を基準に解析を行うことによってウエーハの表面特性を求めるものであることを特徴とする請求項 2 3 ないし請求項 2 9 のいずれか一項に記載の半導体ウエーハの形状評価装置。

【請求項 3 1】 前記表面特性算出手段が、前記微分プロファイルの最外点を最外データポイント A 1 とし、該最外データポイント A 1 からウエーハ中心方向に微分プロファイルを走査して最大値となる位置をフリップアップ (F l i p U p) 最大スロープ位置 C 1 として検出し、該フリップアップ最大スロープ位置 C 1 を基準に解析を行うことによってウエーハの表面特性を求めるものであることを特徴とする請求項 2 3 ないし請求項 3 0 のいずれか一項に記載の半導体ウエーハの形状評価装置。

【請求項 3 2】 前記表面特性算出手段が、前記算出したフリップアップ (F l i p U p) 最大スロープ位置 C 1 からウエーハ中心方向に微分プロファイルを走査して最初に零となる位置をフリップアップ (F l i p U p) 開始点 D 1 として検出し、該フリップアップ開始点 D 1 を基準に解析を行うことによってウエーハの表面特性を求めるものであることを特徴とする請求項 3 1 に記載の半導体ウエーハの形状評価装置。

【請求項 3 3】 前記表面特性算出手段が、前記微分プロファイルとして算出した 2 階微分プロファイルの最外点を最外データポイント A 2 とし、該最外データポイント A 2 からウエーハ中心方向に 2 階微分プロファイルを走査して最初に零となる位置をフリップアップ (F l i p U p) 最大スロープ位置 C 2 として検出し、該フリップアップ最大スロープ位置 C 2 を基準に解析を行うことによって求めるものであることを特徴とする請求項 2 8 ないし請求項 3 2 のいずれか一項に記載の半導体ウエーハの形状評価方法。

【請求項 3 4】 前記表面特性算出手段が、前記微分プロファイルにしきい値



## 【発明の詳細な説明】

【発明の属する技術分野】

【0 0 0 2】

**【 0 0 0 3 】**

出証特 2 0 0 3 - 3 0 5 4 7 5 8

dom access memory) を例に挙げると、現在量産が行われている64MビットDRAMでは、 $0.25\mu\text{m}$ ~ $0.20\mu\text{m}$ のレジストパターンが描かれている。このような近年の半導体集積回路の高集積化・高性能化に伴うデバイスパターンの一層の微細化が進むにつれて、レジストパターンの寸法精度及び重ね合わせ精度の更なる向上が望まれており、回路パターンが形成される半導体ウエーハに対する品質要求もより厳しくなっている。

#### 【0004】

例えば、上記のようにデバイスパターンの微細化が進むにつれ、半導体ウエーハに極小さなうねり等が存在する場合であっても、フォトリソグラフィ工程等においてデバイスパターンに誤差が生じてしまい、半導体デバイスの歩留りの低下を招くという問題が生じた。また一方で、半導体ウエーハの有効利用による製造コストの低下を図るため、ウエーハ上の広範囲にデバイスが形成できるようにウエーハ主表面の最外周付近（面取り部ぎりぎり）まで平坦な半導体ウエーハの製造が望まれている。

#### 【0005】

このような半導体デバイス用基板となる半導体ウエーハに要求される重要な特性の一つとして、半導体ウエーハの形状品質がある。半導体ウエーハの形状品質としては、一般に、直径、厚さ、平行度、平坦度、そり、及びバウ、ワープ等といわれる比較的長周期な凹凸や数mm周期の凹凸であるうねり、表面粗度といった様々なパラメータがある。最近では、このような形状品質に関するパラメータの中で、平坦度の指標として裏面基準又は表面基準のグローバルフラットネスまたはサイトフラットネスと言われる品質が重要視されるケースが多くなっている。

#### 【0006】

特に平坦度の指標として、裏面基準のグローバルフラットネスは、GBIR (Global Back Ideal Range) と言われ、ウエーハ面内に1つの基準面を持ち、この基準面に対する最大、最小の位置変位の幅と定義されるのが普通で、従来からの慣例の仕様であるTTV（全厚さ偏差）に相当する。

#### 【0007】

また、裏面基準のサイトフラットネスは、SBIR (Site Back Ideal Range) と言われ、過去においてかなり頻繁に使用されたLTVに相当するものである。このSBIRは、ウエーハ裏面を基準面とし、更に各サイトにおいて、サイト中心点を含む平面を焦点平面とした時、サイト内の焦点平面から+側、-側の各々最大変位量の絶対値の和によって各サイト毎に評価される。通常、8インチウエーハ（直径200mm）等ではサイトの大きさが20mm×20mm程度の領域で評価される。このサイトの大きさは、ウエーハの直径又は仕様により変化させることができる。

#### 【0008】

その他にも表面基準のサイトフラットネスは、SFQR (Site Front Least Squares Range) と言われ、設定されたサイト内でデータを最小二乗法にて算出したサイト内平面を基準平面とし、この平面からの+側、-側の各々の最大変位量の絶対値の和によって各サイト毎に評価される。

#### 【0009】

更には、ナノトポグラフィーと言われる品質も重要視されている。ナノトポグラフィー（ナノトポロジーとも言われる）は、波長が0.2mmから20mm程度で振幅が数nmから100nm程度の凹凸のことであり、その評価方法は、1辺が0.1mmから10mm程度の正方形、または直径が0.1mmから10mm程度の円形のブロック範囲（この範囲はWINDOW SIZEなどと呼ばれる）の領域で、ウエーハ表面の凹凸の高低差（PV値；peak to valley）を評価するものである。このPV値は、Nanotopography Height等とも呼ばれる。ナノトポグラフィーによる半導体ウエーハの評価においては、特にウエーハ面内に存在する凹凸の最大値が小さいことが望まれている。通常、2mm×2mmの正方形で複数のブロック範囲に対して測定が行われ、そのPV値の最大値で評価し、このPV値の最大値が小さければ小さいほど、より品質の優れたウエーハとして評価される。また、許容値超の領域がFQA (Fixed Quality Area；ウエーハ有効領域) の面積のどれくらいを占めるかにより、ウエーハの形状品質を評価する場合もある。

#### 【0010】

しかしながら、上記に示したような指標を用いて半導体ウエーハの形状品質を評価する場合、デバイス製造工程におけるデザインルールが $0.18\mu\text{m}$ までであれば、その規格を満足することで十分な形状品質を有する半導体ウエーハとすることができたが、近年の半導体デバイスの高集積化により、デザインルールが $0.15\mu\text{m}$ や更に $0.13\mu\text{m}$ とその仕様が厳しくなるにつれ、上記のような指標を満足した半導体ウエーハであっても、実際にウエーハ上にデバイスを形成してみるとレジストパターンを正確に形成することができない等の問題が生じ、歩留りの低下を招いていた。

#### 【0011】

また、デバイス製造工程では露光機等の多くの処理装置が用いられているが、デバイスパターンの微細化に伴い、各処理装置に用いられているウエーハ保持用のチャックとウエーハ形状との相性が問題視されるようになってきた。このようなウエーハチャックとウエーハ形状の相性に関しては、ウエーハチャックの形状とウエーハのうねりや外周部形状のマッチングが重要である。特に、ウエーハ外周部において、形状変化の割合が大きくなる変極点が問題となることが多く、ウエーハ形状が変化する位置及びその度合いを正確に把握する必要が出てきた。

#### 【0012】

しかしながら、上記のようなGBIRやSBIR、SFQR等の指標では、ウエーハ中心部の平坦度は精度良く評価することができるものの、ウエーハ外周部、特にウエーハ主表面と面取り部の境界付近の形状を正確に評価することができない。またナノトポグラフィーも同様に、ウエーハエッジ部の外側にデータがないために正確なフィルター処理が行えず、ウエーハ外周部について正確な評価を行うことが出来なかった。

#### 【0013】

すなわち、マスクパターン（レチクルパターン）の投影像に対しウエーハを繰り返しステップし露光するステッパ（ステップ式投影露光機の通称）やスキャンニング式の露光機等で使用するのに好ましい半導体ウエーハを、上記のようなSFQR等の指標で正確に判定する事ができなかった。

#### 【0014】

したがって、各デバイス製造工程、更に細かくは各処理装置のウエーハチャックとウエーハ形状の相性等を正確に判定するために、ウエーハ外周部の形状を正確に評価でき、さらにウエーハ表面及び裏面の形状を別々に評価できるような指標が必要となってきた。

#### 【0015】

##### 【発明が解決しようとする課題】

そこで本発明は、上記問題点に鑑みてなされたものであり、ウエーハの形状品質を従来のSFQR等とは異なる観点から、半導体ウエーハの形状、特にウエーハ外周部の形状を定量的に評価でき、かつ厳しいデザインルールの仕様に対して的確に評価することができる半導体ウエーハの形状評価方法及び形状評価装置を提供することを目的とする。

#### 【0016】

##### 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明によれば、半導体ウエーハの形状を評価する半導体ウエーハの形状評価方法であって、半導体ウエーハの表面及び／または裏面を走査して半導体ウエーハの形状データを測定し、測定した形状データを微分処理して微分プロファイルを算出し、得られた微分プロファイルの解析を行ってウエーハの表面特性を求めることにより半導体ウエーハの形状を評価することを特徴とする半導体ウエーハの形状評価方法が提供される（請求項1）。

#### 【0017】

このように、半導体ウエーハの表面及び／または裏面を走査して半導体ウエーハの形状データを測定し、測定した形状データを少なくとも1度微分処理して微分プロファイルを算出し、得られた微分プロファイルの解析を行ってウエーハの表面特性を求めることによって半導体ウエーハの形状を評価すれば、ウエーハの形状、例えば、ウエーハ面内の局所的な変極点等をナノトポグラフィーに相当する測定レベルで正確に定量化することができる。さらにウエーハ表面及び裏面の形状を別々に評価することも可能となるため、ウエーハ形状をより正確に評価することができる。その結果、デバイス工程におけるデザインルールが厳しくなっても、レジストパターンを正確に形成できる半導体ウエーハを判定することが可

能となり、歩留りの低下を抑制することができる。

#### 【0018】

このとき、前記半導体ウエーハの表面特性を、少なくとも、半導体ウエーハの外周部について求めることが好ましい（請求項2）。

このように、本発明における半導体ウエーハの形状評価方法によれば、従来では評価することができなかった半導体ウエーハの外周部形状の表面特性を求めることができ、ウエーハ外周部の形状、例えばウエーハ外周部の形状ダレ等について定量的に正確に評価できる。そして、このようにウエーハ外周部の形状を正確に評価できることによって、ウエーハチャックとウエーハ形状の相性等も正確に判定することが可能となる。

#### 【0019】

このとき、前記半導体ウエーハの形状データを、半導体ウエーハの表面及び／または裏面を1mm間隔以下で走査することが好ましい（請求項3）。

半導体ウエーハの表面及び／または裏面を走査する間隔は細かければ細かいほど精度の優れた評価を行うことができるため、このように半導体ウエーハの表面及び／または裏面を1mm間隔以下で走査することによって、十分に優れた測定精度で半導体ウエーハ形状の評価を行うことができる。

#### 【0020】

この場合、前記半導体ウエーハの形状データを、半導体ウエーハ面の変位データ及び／または半導体ウエーハの厚さデータとすることが好ましい（請求項4）。このとき、前記半導体ウエーハ面の変位データを、半導体ウエーハを非吸着で載置した際のウエーハ表面または裏面の厚さ方向の面の変位とすることができ（請求項5）、また、前記半導体ウエーハの厚さデータを、半導体ウエーハの一主表面全体を吸着した際のウエーハの他方の主表面の厚さ方向の面の変位とすることができる（請求項6）。さらに、前記半導体ウエーハ面の変位データを、半導体ウエーハの一部をウエーハ支持具で吸着した際のウエーハ表面及び裏面の厚さ方向の面の変位とし、また前記半導体ウエーハの厚さデータを、半導体ウエーハの一部を吸着した際のウエーハ表面と裏面の面の変位データの差とすることができる（請求項7）。

## 【0021】

このように、半導体ウエーハの形状データを半導体ウエーハ面の変位データ及び／または半導体ウエーハの厚さデータとすることにより、半導体ウエーハの形状を正確に評価することができる。このとき、半導体ウエーハ面の変位データ及び／または半導体ウエーハの厚さデータについては、例えば、上記のように、半導体ウエーハ面の変位データをウエーハを非吸着で載置した際の厚さ方向の面の変位としたり、または、厚さデータをウエーハの一主表面全体を吸着した際の厚さ方向の面の変位としたり、あるいは、半導体ウエーハ面の変位データをウエーハの一部を吸着した際の厚さ方向の面の変位とし、厚さデータをこのウエーハ表面と裏面の面の変位データの差とすることによって、半導体ウエーハの形状データを容易にかつ正確に測定することができる。

## 【0022】

また、前記測定した形状データの微分処理は、先ず前記測定した形状データから半径方向に沿った形状プロファイルを作成し、該形状プロファイルを任意の位置を基準として一定間隔で微分して微分プロファイルを算出することによって行われることが好ましい（請求項8）。

## 【0023】

このように、先ず測定した形状データから半径方向に沿った形状プロファイルを作成し、この形状プロファイルを任意の位置を基準として一定間隔で微分して微分プロファイルを算出することによって、半導体ウエーハの半径方向、特に周辺部での半導体ウエーハの形状を高精度で評価することができる。

## 【0024】

このとき、前記微分プロファイルとして、前記形状プロファイルを任意の位置を基準として一定間隔で微分して1階微分プロファイルを算出した後、さらに該1階微分プロファイルを一定間隔で微分して算出した2階微分プロファイルを用いることができる（請求項9）。

このように、微分プロファイルとして、形状プロファイルを微分して1階微分プロファイルを算出した後、さらにこの1階微分プロファイルを微分した2階微分プロファイルを用いることによって、半導体ウエーハの形状をさらに詳細に評

価することができる。

#### 【0 0 2 5】

このとき、前記形状プロファイルの微分を 1 mm 間隔で行うことが好ましく（請求項 1 0）、また前記 1 階微分プロファイルの微分を 1 mm 間隔で行うことが好ましい（請求項 1 1）。

形状プロファイルの微分を行う間隔は、評価対象となる半導体ウエーハの形状に応じて任意に選択することができるが、上記のように形状プロファイルの微分、また 1 階微分プロファイルの微分を 1 mm 間隔で行うことによって、優れた精度で半導体ウエーハの形状を評価することができる。例えば、形状プロファイルの微分を 1 mm 間隔で行うことにより、2 mm × 2 mm 角で評価したナノトポグラフィーに相当する測定レベルで半導体ウエーハ形状の評価を行うことができる。

#### 【0 0 2 6】

さらに、前記微分プロファイルを算出する際に、長波長成分及び／または測定ノイズの除去を行うことが好ましく（請求項 1 2）、このとき、前記長波長成分の除去を、最小自乗法近似またはハイパスフィルターを施すことによって行うことができ（請求項 1 3）、また前記測定ノイズの除去を、移動平均またはローパスフィルターを施すことによって行うことができる（請求項 1 4）。

#### 【0 0 2 7】

このように、微分プロファイルを算出する際に、長波長成分及び／または測定ノイズの除去を行うことにより、半導体ウエーハに長周期のうねり等が存在していても、ウエーハ形状の局所的な変化を正確に測定することができるため、半導体ウエーハ形状の評価を正確に行うことができる。このとき、長波長成分の除去は、最小自乗法近似またはハイパスフィルター施すことにより、また測定ノイズの除去は、移動平均またはローパスフィルター施すことにより、容易に行うことができる。

#### 【0 0 2 8】

また、前記半導体ウエーハの表面特性を、前記算出した微分プロファイルの最外点を最外データポイント A 1 とし、該最外データポイント A 1 からウエーハ中



心方向に微分プロファイルを走査して最初に零となる位置をロールオフ (R o l l O f f) 開始点B 1として検出し、該ロールオフ開始点B 1を基準に解析を行うことによって求めることができる (請求項15)。

#### 【0029】

このように、半導体ウエーハの表面特性を、微分プロファイルからロールオフ開始点B 1を検出し、このロールオフ開始点B 1を基準に解析を行って求めることにより、半導体ウエーハにおけるロールオフ (傾きがプラスからマイナスに変化する位置) の開始位置や程度を半導体ウエーハの表面特性として評価することができる。すなわち、ウエーハ外周部におけるウエーハ面のダレやハネ、特に面取り部につながるダレの開始位置や程度等を定量化することができ、ウエーハ形状、特にウエーハ外周部の形状を正確に評価することができる。

#### 【0030】

また、前記半導体ウエーハの表面特性を、前記算出した微分プロファイルの最外点を最外データポイントA 1とし、該最外データポイントA 1からウエーハ中心方向に微分プロファイルを走査して最大値となる位置をフリップアップ (F l i p U p) 最大スロープ位置C 1として検出し、該フリップアップ最大スロープ位置C 1を基準に解析を行うことによって求めることができ (請求項16)、さらにこのとき、前記半導体ウエーハの表面特性を、前記算出したフリップアップ (F l i p U p) 最大スロープ位置C 1からウエーハ中心方向に微分プロファイルを走査して最初に零となる位置をフリップアップ (F l i p U p) 開始点D 1として検出し、該フリップアップ開始点D 1を基準に解析を行うことによって求めることができる (請求項17)。

#### 【0031】

このように、半導体ウエーハの表面特性を、微分プロファイルからフリップアップ最大スロープ位置C 1及びフリップアップ開始点D 1を検出し、これらを基準に解析を行って求めることにより、フリップアップの程度や位置あるいは状態を半導体ウエーハの表面特性として評価することが可能となる。例えば、ウエーハ中心からフリップアップ最大スロープ位置C 1またはフリップアップ開始点D 1までの距離やC 1からD 1までの距離、及びC 1地点の最大スロープの大きさ

等を表面特性として定量化することにより、従来とは異なる観点からウエーハ形状、特にウエーハ外周部の形状を一定の基準で確実に評価することができる。

#### 【0032】

さらに、前記半導体ウエーハの表面特性を、前記微分プロファイルとして算出した2階微分プロファイルの最外点を最外データポイントA2とし、該最外データポイントA2からウエーハ中心方向に2階微分プロファイルを走査して最初に零となる位置をフリップアップ (Flip Up) 最大スロープ位置C2として検出し、該フリップアップ最大スロープ位置C2を基準に解析を行うことによって求めることができる (請求項18)。

#### 【0033】

このように微分プロファイルとして算出した2階微分プロファイルを走査して最初に零となる位置として検出されたフリップアップ最大スロープ位置C2は、例えば上記で検出したフリップアップ最大スロープ位置C1のウエーハ中心からの距離と略一致し、このようなフリップアップ最大スロープ位置C2を基準に解析を行うことによって、形状プロファイルの変位の大きい部分 (傾斜のある部分) を正確に解析でき、ウエーハの外周部形状をより詳細に評価することができる。

#### 【0034】

このとき、前記微分プロファイルに、しきい値を設定してウエーハ形状の局所的異常値を検出することが好ましく (請求項19)、前記しきい値を $\pm 0.01 \mu\text{m}/\text{mm}$ に設定することが好ましい (請求項20)。

このように、微分処理にて算出した微分プロファイルにしきい値を設定することによって、ウエーハ形状の局所的異常値 (傾きの異常値や曲率の異常値) を検出することができる。このとき、しきい値を $\pm 0.01 \mu\text{m}/\text{mm}$ に設定することによって、ウエーハ形状の局所的異常値を高精度に検出することができる。例えば、1階微分で算出された微分プロファイル (1階微分プロファイル) に $\pm 0.01 \mu\text{m}/\text{mm}$ でしきい値を設定することによって、ウエーハ形状の局所的な傾きをナノトポグラフィーにより $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ 角で評価する場合に相当する測定レベルで検出することができる。

## 【0035】

そして、前記半径方向に沿って求めた半導体ウエーハの表面特性を、ウエーハ全周に渡って求めることが好ましく（請求項21）、このとき、前記半導体ウエーハ全周に渡る表面特性を、ウエーハ中心角が $1^{\circ}$ 以下の間隔で求めることが好ましい（請求項22）。

## 【0036】

このように、半導体ウエーハの表面特性をウエーハ全周に渡って求めることにより、半導体ウエーハの形状を全面あるいは全周に渡り正確に把握することができる。その結果、例えば、ウエーハチャックとウエーハ形状の相性等についても正確な判定を行うことが可能となる。このとき、半導体ウエーハの表面特性をウエーハ中心角が $1^{\circ}$ 以下の間隔で放射状に求めることにより、極めて高精度に評価することができる。

## 【0037】

さらに、本発明によれば、半導体ウエーハの形状を評価する半導体ウエーハの形状評価装置であって、少なくとも、半導体ウエーハの形状データを測定する形状測定手段と、該測定された形状データを保存する記憶手段と、該保存した形状データを微分処理して微分プロファイルを算出する微分処理手段と、該算出した微分プロファイルを解析することによりウエーハの表面特性を求める表面特性算出手段を有することを特徴とする半導体ウエーハの形状評価装置が提供される（請求項23）。

## 【0038】

このように、少なくとも、形状データを測定する形状測定手段と、形状データを保存する記憶手段と、形状データを微分処理して微分プロファイルを算出する微分処理手段と、微分プロファイルを解析してウエーハの表面特性を求める表面特性算出手段を有する半導体ウエーハの形状評価装置であれば、ウエーハの形状、例えばウエーハ面内の局所的な変極点等をナノトポグラフィーに相当する測定レベルで定量化でき、さらに、ウエーハ表面及び裏面の形状を別々に評価することや、従来では評価できなかった半導体ウエーハの外周部の表面特性を求めることができるため、ウエーハ形状をより正確に評価できる半導体ウエーハの形状評

価装置となる。

#### 【0039】

このとき、前記形状測定手段が、前記形状データとして、非吸着で載置された半導体ウエーハの表面又は裏面の厚さ方向の面の変位を測定することによって、面の変位データを求めるものとすることができ（請求項24）、または、前記形状測定手段が、前記形状データとして、一主表面全体が吸着された半導体ウエーハの他方の主表面の厚さ方向の面の変位を測定することによって、厚さデータを求めるものとすることができ（請求項25）、あるいは、前記形状測定手段が、前記形状データとして、ウエーハ支持具により半導体ウエーハの一部が吸着された半導体ウエーハの表面と裏面の厚さ方向の面の変位を測定することによって面の変位データを求め、求めたウエーハ表面と裏面の面の変位データの差を測定することによって厚さデータを求めるものとすることができる（請求項26）。

#### 【0040】

このような形状測定手段とすれば、半導体ウエーハの形状データを容易かつ正確に測定することができ、半導体ウエーハ形状を正確に評価できる。

#### 【0041】

また、前記微分処理手段が、前記形状データから半径方向に沿った形状プロファイルを作成し、該形状プロファイルを任意の位置を基準として一定間隔で微分して微分プロファイルを算出するものであることが好ましい（請求項27）。

このように、微分処理手段が形状データから形状プロファイルを作成し、この形状プロファイルを任意の位置を基準として一定間隔で微分して微分プロファイルを算出するものであれば、半導体ウエーハの径方向、特に周辺部の形状を高精度で評価できる装置となる。

#### 【0042】

このとき、前記微分処理手段が、前記形状プロファイルを任意の位置を基準として一定間隔で微分して1階微分プロファイルを算出した後、さらに該1階微分プロファイルを一定間隔で微分して2階微分プロファイルを算出するものであることが好ましい（請求項28）。

このように、微分処理手段が形状プロファイルを微分して1階微分プロファイ

ルを算出した後、さらにこの1階微分プロファイルを微分した2階微分プロファイルを算出するものであれば、半導体ウエーハの形状をより高精度で評価できる形状評価装置とすることができる。

#### 【0043】

このとき、前記微分処理手段が、長波長成分及び／または測定ノイズの除去を行うものであることが好ましい（請求項29）。

このように、微分処理手段が長波長成分及び／または測定ノイズの除去を行うものであれば、半導体ウエーハに長周期のうねり等が存在していても、ウエーハ形状の局所的な変化を正確に測定することができ、半導体ウエーハ形状の正確な評価を行うことができるものとなる。

#### 【0044】

また、前記表面特性算出手段が、前記微分プロファイルの最外点を最外データポイントA1とし、該最外データポイントA1からウエーハ中心方向に微分プロファイルを走査して最初に零となる位置をロールオフ（Roll Off）開始点B1として検出し、該ロールオフ開始点B1を基準に解析を行うことによってウエーハの表面特性を求めるものとすることができる（請求項30）。

#### 【0045】

このように、表面特性算出手段が、微分プロファイルからロールオフ開始点B1を検出し、このロールオフ開始点B1を基準に解析を行うことによってウエーハの表面特性を求めるものであれば、半導体ウエーハのロールオフ（傾きがプラスからマイナスに変化する位置）の開始位置や程度を半導体ウエーハの表面特性として評価することができる。すなわち、ウエーハ外周部におけるウエーハ面のダレやハネ、特に面取り部につながるダレの開始位置や程度等を定量化することができ、ウエーハ形状、特にウエーハ外周部の形状を正確に評価することができるものとなる。

#### 【0046】

また、前記表面特性算出手段が、前記微分プロファイルの最外点を最外データポイントA1とし、該最外データポイントA1からウエーハ中心方向に微分プロファイルを走査して最大値となる位置をフリップアップ（Flip Up）最大

スロープ位置C 1として検出し、該フリップアップ最大スロープ位置C 1を基準に解析を行うことによってウエーハの表面特性を求めるものとする事ができ（請求項3 1）、さらにこのとき、前記表面特性算出手段が、前記算出したフリップアップ（F l i p U p）最大スロープ位置C 1からウエーハ中心方向に微分プロファイルを走査して最初に零となる位置をフリップアップ（F l i p U p）開始点D 1として検出し、該フリップアップ開始点D 1を基準に解析を行うことによってウエーハの表面特性を求めるものとする事ができる（請求項3 2）。

#### 【0047】

このように、表面特性算出手段が、微分プロファイルからフリップアップ最大スロープ位置C 1及びフリップアップ開始点D 1を検出し、これらを基準に解析を行うことによってウエーハの表面特性を求めるものであれば、フリップアップの程度や位置あるいは状態を半導体ウエーハの表面特性として評価することが可能となる。例えば、ウエーハ中心からフリップアップ最大スロープ位置C 1またはフリップアップ開始点D 1までの距離やC 1からD 1までの距離、及びC 1地点の最大スロープの大きさ等を表面特性として定量化することにより、従来とは異なる観点からウエーハ形状、特にウエーハ外周部の形状を一定の基準で確実に評価することができるものとなる。

#### 【0048】

さらに、前記表面特性算出手段が、前記微分プロファイルとして算出した2階微分プロファイルの最外点を最外データポイントA 2とし、該最外データポイントA 2からウエーハ中心方向に2階微分プロファイルを走査して最初に零となる位置をフリップアップ（F l i p U p）最大スロープ位置C 2として検出し、該フリップアップ最大スロープ位置C 2を基準に解析を行うことによって求めるものとする事ができる（請求項3 3）。

#### 【0049】

このように、表面特性算出手段が、2階微分プロファイルからフリップアップ最大スロープ位置C 2を検出し、これを基準に解析を行うことによってウエーハの表面特性を求めるものであれば、フリップアップ最大スロープ位置C 2は、例

えば上記で検出したフリップアップ最大スロープ位置C1のウエーハ中心からの距離と略一致するため、形状プロファイルの変位の大きい部分（傾斜のある部分）を正確に解析でき、ウエーハの外周部形状をより詳細に評価することができる。

#### 【0050】

また、前記表面特性算出手段が、前記微分プロファイルにしきい値を設定してウエーハ形状の局所的異常値を検出するものであることが好ましい（請求項34）。

#### 【0051】

このように、表面特性算出手段が、微分プロファイルにしきい値を設定するものであれば、ウエーハ形状の局所的異常値（傾きの異常値や曲率の異常値）を検出することができる。例えば、1階微分で算出された微分プロファイルにしきい値を $\pm 0.01 \mu\text{m}/\text{mm}$ に設定することによって、ウエーハ形状の局所的な傾きを、ナノトポグラフィーにより $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ 角で評価する場合に相当する測定レベルで検出することができる装置となる。

#### 【0052】

##### 【発明の実施の形態】

以下、本発明について実施の形態を説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。

本発明者等は、半導体ウエーハの形状を従来のSFQR等の指標とは異なる観点から評価するために、半導体ウエーハ上を走査してその形状データを測定し、測定した形状データに微分処理及び一定の解析を行ってウエーハの表面特性を求めることによって、半導体ウエーハの形状、特にウエーハ外周部の形状を定量的に評価し、かつ厳しいデザインルールでの使用に対しても的確に半導体ウエーハ形状を評価することができることを見出し、本発明を完成するに至った。

#### 【0053】

先ず、本発明に係る半導体ウエーハの形状評価装置について、図面を参照しながら説明する。図7は本発明に係る半導体ウエーハの形状評価装置の一例について、その要部構成を示す概略説明図であり、また、図9は本発明に係る半導体ウ

エーハの形状評価装置の別の例の要部構成を示す概略説明図である。

#### 【0054】

本発明の半導体ウエーハの形状評価装置 11 は、半導体ウエーハの形状データを測定し、微分処理及び解析を行う装置であり、少なくとも、半導体ウエーハの形状データを測定する形状測定手段 1 と、測定された形状データを保存する記憶手段 2 と、保存した形状データを微分処理して微分プロファイルを算出する微分処理手段 3 と、算出した微分プロファイルを解析することによりウエーハの表面特性を求める表面特性算出手段 4 を有している。

#### 【0055】

ここで、形状測定手段 1 は、例えば、被測定対象物を載せる試料台 7 上に半導体ウエーハ 6 を非吸着で載置し、変位計 8 によって半導体ウエーハの表面又は裏面における厚さ方向の面の変位を測定することによって、例えば図 8 に示すように、形状データとして面の変位データを求めることができる。

#### 【0056】

また、例えば、試料台 7 上に半導体ウエーハ 6 を一主表面全体を吸着することによりウエーハの吸着された一主表面を強制的に平らな状態で保持し、変位計 8 によって半導体ウエーハの他方の主表面における厚さ方向の面の変位を測定することによって、形状データとして厚さデータを求めるようにしても良い。

#### 【0057】

形状測定手段 1 のさらに別の形態としては、例えば図 9 に示した半導体ウエーハの形状評価装置 12 のように、ウエーハ支持具 9 により半導体ウエーハ 6 の一部を吸着して保持し、ウエーハの上下から表裏 2 本の変位計 10 により、半導体ウエーハの表面と裏面におけるそれぞれの厚さ方向の面の変位を測定することによって、例えば図 10 に示すようにそれぞれの面の変位データを求めることができ、また求めたウエーハ表面と裏面の面の変位データの差を測定することによって厚さデータを求めることができる。ウエーハ支持具 9 は測定の妨げにならない位置で保持すれば良く、ウエーハ主面の一部又はウエーハ外周部を支持するようにすれば良い。

#### 【0058】



このとき、変位計 8 または変位計 10 は、レーザー発振器、及び CCD (Charge Coupled Device) カメラ、自動焦点回路等からなる自動焦点機構を備えている。そして、このような変位計 8 または変位計 10 は、半導体ウエーハの表面及び／または裏面に対して垂直に所定の間隔でレーザー光 (例えば、HeNe レーザー等) を照射させ、自動焦点機構によって照射されたレーザー光の半導体ウエーハからの反射像の焦点を自動的に合わせて予め校正された基準点からの距離のずれを測ることによって、半導体ウエーハの表面及び／または裏面の厚さ方向の面の変位を測定することができる。

#### 【0059】

しかしながら、半導体ウエーハの形状データを測定する形状測定手段 1 における変位計は、上記に説明したレーザー光を用いて測定する変位計に限られるものではなく、例えば、静電容量式の変位計 (厚さ計) センサーである静電容量式のフラットネス測定器によって、半導体ウエーハの形状データを測定しても良い。このような静電容量式のフラットネス測定器としては、市販の非接触ウエーハ厚み、平坦度、BOW/WARP 測定装置、例えば ADE 社製ウルトラゲージ 9900 等を使用することができる。すなわち、半導体ウエーハの形状データとして、半導体ウエーハの形状を示すパラメータ、すなわち半導体ウエーハ面の変位データや半導体ウエーハの厚さデータ等を精度良く測定できるものであれば、形状測定手段 1 として使用することができる。

#### 【0060】

また、本発明の半導体ウエーハの形状評価装置 11 または 12 は、記憶手段 2、微分処理手段 3、及び表面特性算出手段 4 を、例えば、CPU (Central Processing Unit)、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory) 等を備えたコンピュータ 5 に組み込むことができる。このコンピュータ 5 は、例えば変位計 8 から出力された半導体ウエーハの形状データを入力して記憶手段 2 に保存し、RAM を作業領域として、ROM に内蔵された所定の解析プログラム、すなわち微分処理手段 3 及び表面特性算出手段 4 を読み出して、CPU にて先に保存した形状データから表面特性を求めることができるものである。

## 【0061】

次に、上記のような本発明の半導体ウエーハの形状評価装置を用いて、半導体ウエーハの形状を評価する方法を説明する。

本発明による半導体ウエーハの形状評価方法は、半導体ウエーハの表面及び／または裏面を走査して半導体ウエーハの形状データを測定し、測定した形状データを微分処理して微分プロファイルを算出し、得られた微分プロファイルの解析を行ってウエーハの表面特性を求めることにより半導体ウエーハの形状を評価することを特徴とする。このとき、微分プロファイルとして、形状データを1階微分して算出した1階微分の微分プロファイルを用いても良いし、またこの1階微分の微分プロファイルを更に微分して算出した2階微分の微分プロファイルを用いても良い。

## 【0062】

このような本発明の半導体ウエーハの形状評価方法によれば、半導体ウエーハの中心部における表面特性はもちろんのこと、従来では評価が困難であった半導体ウエーハの外周部についてウエーハの表面特性を求めることができ、正確にかつ優れた測定精度でウエーハ形状の評価を行うことができる。

## 【0063】

このような本発明の形状評価方法において、半導体ウエーハの形状の評価は、半導体ウエーハの最外周から1mm～2mm以内の領域を除外して行われることが好ましい。現状、デバイスを形成する領域の平坦度等の保証は、周辺3mmを除いた領域で行われており、本発明の半導体ウエーハの形状評価方法では、この保証領域と同じ範囲内またはこの領域より更に外側まで評価することが好ましい。例えば、ウエーハの最外周から1mm～2mm以内の領域を除外して評価すれば、今後要求される周辺2mmを除いた領域の平坦度の保証や周辺1mmを除いた領域の保証に対しても使用できる。但し、一般に、半導体ウエーハの外周部にはウエーハのカケ等を防止するため面取り工程が施されるため、図11に示すような面取り部が形成されている。この面取り部の幅はウエーハの製造方法によって異なるが、通常およそ300～500 $\mu$ m程度である。近年、ウエーハ形状の評価は、ウエーハ主表面と面取り部の境界近傍まで行われることが望まれている

ものの、測定精度等を考慮に入れると、面取り部を含む半導体ウエーハの最外周から1mm以内の領域を除外すること（測定除外領域）により、さらに測定精度の優れた半導体ウエーハの形状の評価を行うことができる。

#### 【0064】

以下、本発明の半導体ウエーハの形状評価方法について、図面を参照しながらより詳細に説明する。

先ず、形状測定手段により、測定対象となる半導体ウエーハの表面及び／または裏面を走査して半導体ウエーハの形状データを測定する。このとき、半導体ウエーハの形状データとして、半導体ウエーハ面の変位データ及び／または半導体ウエーハの厚さデータを求めることができる。

#### 【0065】

例えば、上述のように、半導体ウエーハの形状データとして、半導体ウエーハを非吸着で載置した際のウエーハ表面または裏面における厚さ方向の面の変位を測定することによって、半導体ウエーハ面の変位データを求めることができる。あるいは、半導体ウエーハの形状データとして、半導体ウエーハの一主表面全体を吸着した際のウエーハの他方の主表面における厚さ方向の面の変位を測定することによって、半導体ウエーハの厚さデータを求めることができる。また、半導体ウエーハの形状データとして、半導体ウエーハの一部をウエーハ支持具で吸着した際のウエーハ表面及び裏面における厚さ方向の面の変位を測定することによって半導体ウエーハ面の変位データを求めることができ、これらのウエーハ表面と裏面の面の変位データの差を測定することによって、半導体ウエーハの厚さデータを求めるようにしても良い。

#### 【0066】

このように、半導体ウエーハの形状データとして、半導体ウエーハ面の変位データ及び／または半導体ウエーハの厚さデータを求めることによって、半導体ウエーハの形状データを容易に測定することができる。

その後、測定した形状データは、上記コンピュータの記憶手段に順次保存される。

#### 【0067】

このとき、半導体ウエーハの形状データは、半導体ウエーハの表面及び／または裏面を細かい測定間隔で走査することによって、優れた精度で半導体ウエーハの形状評価を行うことができる。例えば、半導体ウエーハを走査する間隔を 1 mm 間隔以下、特に 0.05 mm 間隔程度とすることにより、優れた測定精度で半導体ウエーハ形状の評価を行うことができる。

#### 【0068】

このように形状測定手段を用いて半導体ウエーハの表面及び／または裏面を走査することによって、例えば、図 2 に示すような半導体ウエーハの形状データを測定することができる。この図 2 は、直径 300 mm の半導体ウエーハを非吸着で載置し、変位計を用いてウエーハ表面における厚さ方向の面の変位を 0.05 mm 程度の測定間隔で測定することによって求めた半導体ウエーハ面の変位データであり、ウエーハ中心を基準に径方向に -150 mm から 150 mm の範囲における変位を二次元的に示したものである。この図 2 の形状データでは、長周期のうねりや測定ノイズが見られ、また面取り部としてウエーハ最外周から 0.5 mm 程度の位置において形状データが急激に変化していることがわかる。

#### 【0069】

このとき、形状データの符号（プラス・マイナス）は、ウエーハの一主表面を表面または裏面をどちらにするかによってプラスまたはマイナスに変化するため、ウエーハ表面（または裏面）の形状データをどちらの符号で表すかは任意であり、ウエーハ形状を評価する際にウエーハの外周部におけるウエーハ面のハネまたはダレ方向を間違えることなく評価することができれば良い。

#### 【0070】

次に、上記形状測定手段で測定して記憶手段に保存した形状データは、上記微分処理手段によって形状データの微分処理が行われ、微分プロファイルが算出される。

まず、測定した形状データから半径方向に沿った形状プロファイルを作成する。例えば、図 2 の形状データから半径方向に沿って、ウエーハ中心から 120 ～ 148 mm の範囲（ウエーハ最外周から 2 mm は測定除外領域とした）の形状プロファイルを作成することによって、図 3 に示す形状プロファイルを得ることが

できる。

#### 【0071】

尚、この図3の形状プロファイルは、図2の形状データから形状プロファイルを作成した後に、長波長成分を除去するために最小自乗法近似を施し、さらに測定ノイズを除去するために1～2mm程度の移動平均の操作を行ったものである。このように、形状プロファイルを作成した後に、ワープ等の長波長成分及び／または測定ノイズの除去を行うことによって、ウエーハ形状の局所的な変化を正確に測定することができ、半導体ウエーハ形状の評価を優れた測定精度で行うことができる。

#### 【0072】

このとき、長波長成分または測定ノイズを除去する方法は上記に限定されるものではない。例えば、長波長成分の除去は、最小自乗法近似のほかハイパスフィルター等を施すことによって容易に行うことができる。また、測定ノイズの除去も、移動平均のほかローパスフィルター等を施すことによって容易に行うことができるが、このような測定ノイズの除去は必ずしも行われる必要はない。

尚、長波長成分の除去は、この形状プロファイルの状態では行わず、その後の微分処理により微分プロファイルを算出した後に行うこともできる。

#### 【0073】

続いて、作成した形状プロファイル（図3）を、任意の位置を基準として一定間隔で差分を取り、その中点にデータをプロットすることで微分プロファイルを算出する。例えば、図6に示すような形状プロファイルが得られた場合、任意の位置 $X_i$ （mm）を基準として、 $X_{i+1}$ （mm）における形状プロファイルの大きさ $Y_{i+1}$ （ $\mu\text{m}$ ）と、 $X_i$ （mm）における形状プロファイルの大きさ $Y_i$ （ $\mu\text{m}$ ）との差を一定間隔（ $X_{i+1} - X_i$ ）で除した値を微分値（ $dy_i$ ）として求めた後、間隔（ $X_{i+1} - X_i$ ）の中間点にデータをプロットすることによって微分プロファイルを算出することができる。

#### 【0074】

またこのとき、微分プロファイルとして、微分処理手段によって形状プロファイルを任意の位置を基準として一定間隔で微分して1階微分プロファイルを算出

した後、さらに該1階微分プロファイルを一定間隔で微分して算出した2階微分プロファイルを用いることができる。このように、微分プロファイルとして2階微分プロファイルを算出すれば、半導体ウエーハの形状をさらに高精度で評価することができる。

#### 【0075】

このとき、形状プロファイルの微分を行う間隔 ( $X_{i+1} - X_i$ )、さらに1階微分プロファイルの微分を行う間隔は、評価対象となる半導体ウエーハの形状に応じて任意に選択することができるが、これらの間隔を1mm間隔で行うことにより、半導体ウエーハの形状を高精度に評価することができる。例えば、形状プロファイルの微分を1mm間隔で行うことによって、2mm×2mm角で評価したナノトポグラフィーに相当する優れた測定レベルで半導体ウエーハ形状の評価を行うことができる。

#### 【0076】

このように微分処理手段により形状データの微分処理を行うことによって、形状データから一定の基準で微分プロファイルを算出することができ、例えば上記図3の形状プロファイルを微分(1階微分)することによって、図1に示す微分プロファイルを算出することができる。縦軸は微分値であり、凹凸の傾きの大きさに相当する。このように算出した微分プロファイル(図1)を表面特性算出手段により解析することにより、ウエーハの表面特性を求めることができ、ウエーハ形状に関する十分に有益な情報を得ることができる。以下、微分プロファイルを解析して表面特性を求める方法について説明する。

#### 【0077】

本発明の半導体ウエーハの表面特性は、表面特性算出手段を用いることにより、算出した微分プロファイルの最外点を最外データポイントA1とし、該最外データポイントA1からウエーハ中心方向に微分プロファイルを走査して最初に零となる位置をロールオフ(Roll Off)開始点B1として検出し、該ロールオフ開始点B1を基準に解析を行うことによって求めることができる。

#### 【0078】

すなわち、ロールオフ開始点B1を基準に、例えば、A1-B1間の任意地点

の大きさを調べることによりロールオフの強度を求めることができ、この値の絶対値の大きさが大きい程ロールオフの強度は大きくなる。またウエーハ中心からロールオフ開始点B1までの距離（または、B1からウエーハ最外周までの距離）を調べることにより、ロールオフの開始位置を求めることができる。その結果、ウエーハ外周部におけるウエーハの面ダレやハネの開始位置やその程度等を正確に定量化することが可能となり、半導体ウエーハ形状、特にウエーハ外周部の形状を正確に評価することができる。

#### 【0079】

また、本発明の半導体ウエーハの表面特性は、表面特性算出手段を用いることにより、算出した微分プロファイルの最外点を最外データポイントA1とし、該最外データポイントA1からウエーハ中心方向に微分プロファイルを走査して最大値となる位置をフリップアップ（Flip Up）最大スロープ位置C1として検出し、さらに該フリップアップ最大スロープ位置C1からウエーハ中心方向に微分プロファイルを走査して最初に零となる位置をフリップアップ（Flip Up）開始点D1として検出し、前記フリップアップ最大スロープ位置C1及びフリップアップ開始点D1を基準に解析を行うことによっても求めることができる。

#### 【0080】

すなわち、フリップアップ最大スロープ位置C1及びフリップアップ開始点D1を基準に解析を行うことにより、フリップアップ最大スロープ位置C1の大きさからフリップアップの強度を求めることができ、さらに、例えばウエーハ中心からフリップアップ最大スロープ位置C1、及びフリップアップ開始点D1までの距離、またはC1からD1までの距離を表面特性として定量化することにより、従来のSFQR等とは異なる観点からウエーハ形状、特にウエーハ外周部の形状を一定の基準で確実に評価することができる。

#### 【0081】

さらに、本発明の半導体ウエーハの表面特性は、微分プロファイルとして2階微分プロファイルを用いる場合、表面特性算出手段を用いることにより、算出した2階微分プロファイルの最外点を最外データポイントA2とし、該最外データ

ポイントA2からウエーハ中心方向に2階微分プロファイルを走査して最初に零となる位置をフリップアップ (Flip Up) 最大スロープ位置C2として検出し、該フリップアップ最大スロープ位置C2を基準に解析を行うことによって求めることができる。

#### 【0082】

このように検出されたフリップアップ最大スロープ位置C2は、例えば上記で検出したフリップアップ最大スロープ位置C1のウエーハ中心からの距離と略一致する。したがって、このようなフリップアップ最大スロープ位置C2を基準に解析を行うことによって、形状プロファイルの変位の大きい部分（傾斜のある部分）を正確に解析してウエーハのフリップアップの位置を高精度に検出でき、ウエーハの外周部形状をより詳細に評価することができる。

#### 【0083】

このような表面特性を求めることによって、従来のウエーハ形状の評価方法では得ることのできない有効な情報を得ることができるため、デバイス製造工程等におけるウエーハチャックとウエーハ形状の相性の問題等を定量的に評価解析に資することにより、デバイス工程の歩留りの向上を図ることができ、さらに種々の実験データの解析用パラメータとして活用することもできる。

#### 【0084】

また、算出した微分プロファイルに、表面特性算出手段によりしきい値を設定することによって、ウエーハ形状の局所的異常値、例えば傾きの異常値や曲率の異常値を自動的に検出することができる。このとき、しきい値を $\pm 0.01 \mu\text{m}/\text{mm}$ に設定することによって、ウエーハ形状の局所的異常値を高精度で検出することができる。例えば、1階微分で算出された微分プロファイル（1階微分プロファイル）にしきい値を $\pm 0.01 \mu\text{m}/\text{mm}$ に設定することによって、ナノトポグラフィーによりウエーハ形状を $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ 角で評価する場合に相当する測定レベルで、ウエーハ形状の局所的な傾きを検出することができる。

#### 【0085】

このとき、上記のように半径方向に沿って求めた半導体ウエーハの表面特性を、ウエーハ全周に渡って求めることにより、半導体ウエーハの全周の形状を正確



に把握することができる。このように半導体ウエーハ全周の形状を評価することにより、例えば、ウエーハチャックとウエーハ形状の相性等についても正確に判定することが可能となる。このとき、半導体ウエーハの表面特性をウエーハ中心角が $1^{\circ}$ 以下の間隔で、例えばウエーハ面内で $360 \sim 400$ 本程度放射状に求めることにより、半導体ウエーハの全周の形状を高精度に評価することができる。

#### 【0086】

このように、本発明の半導体ウエーハの形状評価方法によれば、従来の指標であるSFQR等とは違った観点からウエーハの形状、例えば局所的な変極点等をナノトポグラフィーに相当する測定レベルで定量化でき、またウエーハ表面及び裏面の形状を別々に評価することも可能となるため、ウエーハ形状を正確に評価することができる。

#### 【0087】

尚、半導体ウエーハの形状を評価する際には、上記に示したような本発明の表面特性の他、従来用いられているようなSFQR等の平坦度、表面粗さといった他の評価パラメータと組み合わせることにより、より詳細な半導体ウエーハの形状を評価することができる。

#### 【0088】

さらに、本発明は、従来のウエーハ形状の評価方法では得ることのできない有効な情報を得ることができることから、例えばリソグラフィーや化学機械的研磨(CMP)等の処理装置に好適な半導体ウエーハを判定することや、また求めた表面特性に基づいて更にプラズマエッチング等でウエーハを局部的に加工してより高品質のウエーハを作製すること等に応用することが可能となり、その結果、デバイス製造工程における品質および歩留りの向上を図ることができる。

#### 【0089】

さらに、本発明により求められる表面特性は、種々の実験データの解析用パラメータとして活用することもできるとともに、これらのデータの蓄積によって、製造工程の能力等を容易に把握することが可能となり、安定した半導体ウエーハの供給を行うことが可能となる。

## 【0090】

## 【実施例】

以下、実施例を示して本発明をより具体的に説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。

## (実施例1)

まず、CZ法により直径300mmのシリコン単結晶を引き上げ、得られた単結晶をスライスし、面取り、ラッピング、研磨を施してシリコンウエーハを作製した。その後、図7に示すような形状評価装置11を用いて、作製した直径300mmのシリコンウエーハを試料台7に非吸着で載置し、変位計8でウエーハ表面を走査することによって、形状データとして図2に示すようなウエーハ表面の変位データを求め、コンピュータ5の記憶手段2に保存した。

## 【0091】

次に、図2の形状データから半径方向に沿って、ウエーハ中心から120～148mmの範囲の形状プロファイルを作成した後、2mmの移動平均を施して測定ノイズを除去し、また最小自乗法近似により長波長成分を除去することによって、図3に示すような長波長成分及び測定ノイズが除去された外周部形状プロファイルを作成した。その後、この作成した形状プロファイル(図3)に1mm間隔で微分を行って、図1に示すような微分プロファイルを算出した。

## 【0092】

続いて、得られた微分プロファイル(図1)から最外データポイントA1、ロールオフ開始点B1、フリップアップ最大スロープ位置C1、及びフリップアップ開始点D1を検出して、これらのパラメータを基準にして、ウエーハ中心からロールオフ開始点B1までの距離を表面特性Bとして、フリップアップ最大スロープ位置C1での傾きの大きさを表面特性Cとして、またウエーハ中心からフリップアップ開始点D1までの距離を表面特性Dとして解析を行った。また、しきい値を $\pm 0.01 \mu\text{m}/\text{mm}$ に設定してウエーハ形状の局所的異常値(傾きの異常値)について評価を行った。

## 【0093】

その結果、実施例1で作製したシリコンウエーハの形状は、表面特性B=14

6. 8 mm、表面特性  $C = 0.039 \mu\text{m/mm}$ 、表面特性  $D = 142.8 \text{ mm}$  として評価することができた。また、しきい値を設定したことによって、ウエーハ中心から 139.5 mm 付近にウエーハ形状の局所的な傾きを検出することができた。

#### 【0094】

##### (実施例 2)

まず、CZ 法により直径 300 mm のシリコン単結晶を引き上げ、得られた単結晶をスライスし、面取り、ラッピング、研磨を施してシリコンウエーハを作製した。このとき、ウエーハの研磨条件については実施例 1 とは異なる条件とし、その他に関しては、ほぼ同様にしてシリコンウエーハを作製した。

#### 【0095】

その後、図 9 に示すような表裏両面から測定する形状評価装置 12 を用いて、作製した直径 300 mm のシリコンウエーハの外周部をウエーハ支持具で保持し、形状データとして、変位計 10 により半導体ウエーハの表面及び裏面の面の変位データを測定し、また測定したウエーハ表面と裏面の面の変位データの差を求めることによって厚さデータを求め、コンピュータ 5 の記憶手段 2 に保存した。このとき、変位計 10 として、非接触レーザー変位計（2 ヘッド方式）の測定器 ナノメトロ（登録商標）300 TT（黒田精工社製）を用いて測定を行った。

#### 【0096】

次に、得られた形状データ、すなわち、ウエーハ表面及び裏面の面の変位データと厚さデータのそれぞれから、半径方向に沿ってウエーハ中心から 120 ~ 148 mm の範囲の形状プロファイルを作成した。このように作成したウエーハ表面の面の変位、ウエーハ裏面の面の変位、及びウエーハの厚さの 3 つの形状プロファイルを図 4 に示す。

#### 【0097】

続いて、この図 4 のそれぞれの形状プロファイルに 2 mm の移動平均を施して測定ノイズを除去した後、1 mm 間隔で微分処理を行って微分プロファイルを算出し、最小自乗法近似により長波長成分を除去することによって、図 5 に示すようなウエーハ表面の面の変位、ウエーハ裏面の面の変位、及びウエーハの厚さの

3つの微分プロファイルを得た。

【0098】

その後、この図5の微分プロファイルのそれぞれに、実施例1と同様の解析を行って、表面特性B、C、Dを求め、またしきい値を $\pm 0.01 \mu\text{m}/\text{mm}$ に設定してウェーハ形状の局所的異常値（傾きの異常値）について評価を行った。

【0099】

その結果、実施例2で作製したシリコンウェーハの形状は、ウェーハ表面形状においては表面特性 $B = 147.5 \text{ mm}$ 、表面特性 $C = 0.011 \mu\text{m}/\text{mm}$ 、表面特性 $D = 141.4 \text{ mm}$ であり、またウェーハ裏面形状においては表面特性 $B = 140.3 \text{ mm}$ 、表面特性 $C = 0.033 \mu\text{m}/\text{mm}$ 、表面特性 $D = 140.0 \text{ mm}$ であり、ウェーハの厚さにおいては表面特性 $B = 142.9 \text{ mm}$ 、表面特性 $C = 0.00 \mu\text{m}/\text{mm}$ 、表面特性 $D = 140.0 \text{ mm}$ として評価することができた。また、しきい値を設定したが、実施例2のシリコンウェーハでは、ウェーハ中心から $120 \sim 144.2 \text{ mm}$ の範囲において、ウェーハ表裏両面に局所的な傾きがないことがわかった。

【0100】

上記のように、実施例2のシリコンウェーハには大きなうねりがあるため、従来用いられているSFQR等の指標では局所的なウェーハ形状の変化等を評価することは困難であるが、本発明によれば、どのようなウェーハ形状であってもその表面特性を求めることができ、正確に評価を行うことができる。

【0101】

また、比較のため、実施例1及び実施例2で作製した両方のシリコンウェーハの表面形状をSFQRで評価した結果、両ウェーハとも $0.13 \mu\text{m}$ 程度とほぼ同様の値を示し、本発明のようにウェーハ形状の違いを正確に評価することはできなかった。

【0102】

(実施例3)

実施例1と同様に直径 $300 \text{ mm}$ の鏡面研磨されたシリコンウェーハを準備し、図7に示すような形状評価装置11を用いてウェーハ表面を走査することによ

って、形状データとしてウエーハ表面の変位データを求めた。次に、得られたウエーハ表面の形状データから半径方向に沿ってウエーハ中心から120～149 mmの範囲の形状プロファイルをウエーハ中心角が1°の間隔で360本作成した。続いて、得られた各形状プロファイルを2 mmの平均移動を施して測定ノイズを除去した後、1 mm間隔で微分を行って微分プロファイルを算出した。

#### 【0103】

算出したウエーハ全周に渡る360本の微分プロファイルを90°間隔で4つのエリアに分け、各エリア毎の90本の微分プロファイルの平均を取って平均微分プロファイルを作成した。つまり、ノッチ位置を基準に0～89°の範囲の微分プロファイルから平均微分プロファイルR11を作成し、同様に、90～179°の範囲から平均微分プロファイルR21を、180～269°の範囲から平均微分プロファイルR31を、270～359°の範囲から平均微分プロファイルR41をそれぞれ作成した。その後、得られた各平均微分プロファイルに対して最小自乗近似により長波長成分の除去を行って、図12に示すような微分プロファイルを算出した。

#### 【0104】

図12のように得られた平均微分プロファイルのそれぞれに、実施例1と同様の解析を行って、表面特性B, C, Dを求めた。その結果、平均微分プロファイルR11では表面特性B=148.0 mm、表面特性C=38 nm/mm、表面特性D=141.5 mmであり、平均微分プロファイルR21では表面特性B=146.8 mm、表面特性C=17 nm/mm、表面特性D=144.0 mmであり、平均微分プロファイルR31では表面特性B=136.0 mm、表面特性C=8 nm/mm、表面特性D=125.0 mmであり、平均微分プロファイルR41では表面特性B=145.9 mm、表面特性C=7 nm/mm、表面特性D=143.0 mmであり、このようにしてシリコンウエーハの表面形状を評価することができた。

#### 【0105】

次に、上記の各平均微分プロファイルを更に1 mm間隔で微分して2階微分プロファイルを算出した後、最小自乗近似により長波長成分の除去を行った。この

とき、平均微分プロファイル R11 を微分して算出したものを平均 2 階微分プロファイル R12 とし、同様に、平均微分プロファイル R21、R31、R41 を微分して算出したものを、それぞれ平均 2 階微分プロファイル R22、R32、R42 とした。その結果を図 13 に示す。図 13 の縦軸は (2 階) 微分値であり、曲率の大きさに相当する。

#### 【0106】

得られた各平均 2 階微分プロファイルを、最外データポイントからウエーハ中心方向に走査して最初に零となる位置をフリップアップ最大スロープ位置 C2 として検出して、ウエーハ中心からフリップアップ最大スロープ位置 C2 までの距離を表面特性 E として解析を行った。

#### 【0107】

その結果、平均 2 階微分プロファイル R12 の表面特性 E は 146.5 mm、平均 2 階微分プロファイル R22 の表面特性 E は 146.0 mm、平均 2 階微分プロファイル R32 の表面特性 E は 144.8 mm、平均 2 階微分プロファイル R42 の表面特性 E は 145.0 mm であり、シリコンウエーハの形状をより詳細に評価することができた。

#### 【0108】

なお、本発明は、上記実施形態に限定されるものではない。上記実施形態は、例示であり、本発明の特許請求の範囲に記載された技術的思想と実質的に同一な構成を有し、同様な作用効果を奏するものは、いかなるものであっても本発明の技術的範囲に包含される。

#### 【0109】

例えば、上記実施の形態においては、主に半導体ウエーハの外周部形状の評価について説明しているが、本発明はこれには限定されず、ウエーハ中心からウエーハ最外周までのウエーハ全面の形状についても評価できることは言うまでもない。例えば、ウエーハ表面全面をマップ図的に表して評価することによって、ウエーハ面内の異常値や変極点のある部分を正確に把握することができる。

#### 【0110】

#### 【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、従来の指標である S F Q R 等とは違った観点からウエーハの形状、例えば局所的な変極点等をナノトポグラフィーに相当する測定レベルで定量化でき、またウエーハ表面及び裏面の形状を別々に評価することも可能となるため、ウエーハ形状を正確に評価することができる。

#### 【0111】

また、本発明によれば、半導体ウエーハの外周部の表面特性を正確に求めることができるため、従来では困難であったウエーハ外周部の形状、例えばウエーハ外周部の表面ダレ等を定量的に正確に評価することができる。

#### 【0112】

さらに、本発明は、従来のウエーハ形状の評価方法では得ることのできない有効な情報を得ることができることから、例えばリソグラフィーや化学機械的研磨 (CMP) の処理装置に好適な半導体ウエーハを判定すること等が可能となり、デバイス製造工程における歩留りの向上を図ることができる。また、本発明により求められる表面特性は、種々の実験データの解析用パラメータとして活用することもできるとともに、これらのデータの蓄積によって、製造工程の能力等を容易に把握することが可能となり、安定した半導体ウエーハの供給を行うことが可能となる。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

本発明の微分処理手段によって算出した微分プロファイルを示したグラフである。

##### 【図2】

半導体ウエーハ表面の変位データを測定して得られた形状データを示したグラフである。

##### 【図3】

半導体ウエーハのウエーハ中心から 120～148mm の範囲の形状プロファイルを示したグラフである。

##### 【図4】

実施例 2 において作成したウエーハ表面の面の変位、ウエーハ裏面の面の変位

、及びウエーハの厚さの3つの形状プロファイルを示したグラフである。

【図5】

実施例2において算出したウエーハ表面の面の変位、ウエーハ裏面の面の変位、及びウエーハの厚さの3つの微分プロファイルを示したグラフである。

【図6】

微分処理の際の差分について説明するグラフである。

【図7】

本発明による半導体ウエーハの形状評価装置の一例を示す概略説明図である。

【図8】

図7の半導体ウエーハの形状評価装置の変位計による半導体ウエーハの形状データの測定について説明した説明図である。

【図9】

本発明による半導体ウエーハの形状評価装置の別の一例を示す概略説明図である。

【図10】

図9の半導体ウエーハの形状評価装置の変位計による半導体ウエーハの形状データの測定について説明した説明図である。

【図11】

半導体ウエーハの外周部の形状を概略的に表した概略説明図である。

【図12】

実施例3において算出した平均微分プロファイルを示したグラフである。

【図13】

実施例3において、図12の平均微分プロファイルをさらに微分して算出した平均2階微分プロファイルを示したグラフである。

【符号の説明】

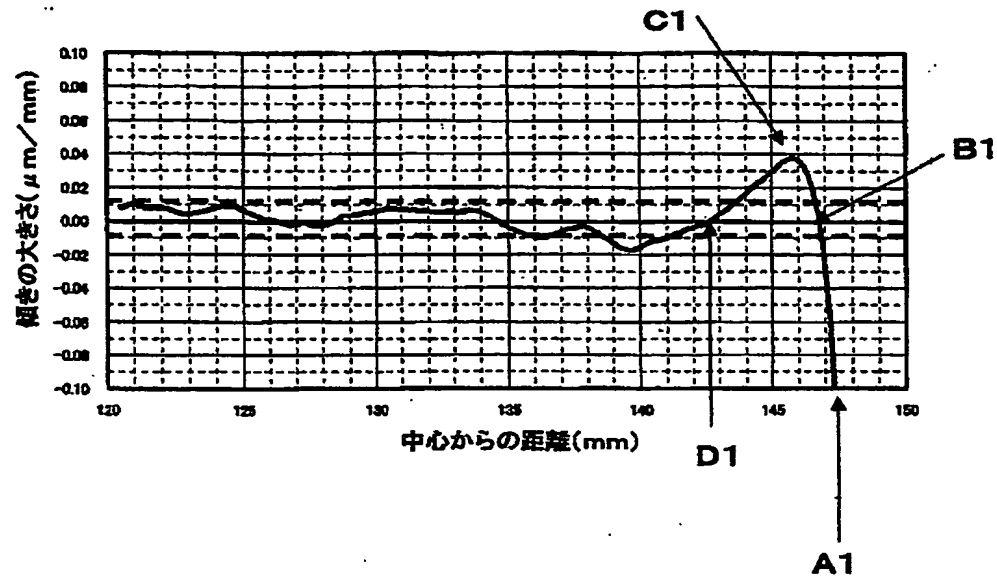
- 1…形状測定手段、 2…記憶手段、 3…微分処理手段、  
4…表面特性算出手段、 5…コンピュータ、  
6…半導体ウエーハ、 7…試料台、  
8…変位計、 9…ウエーハ支持具、



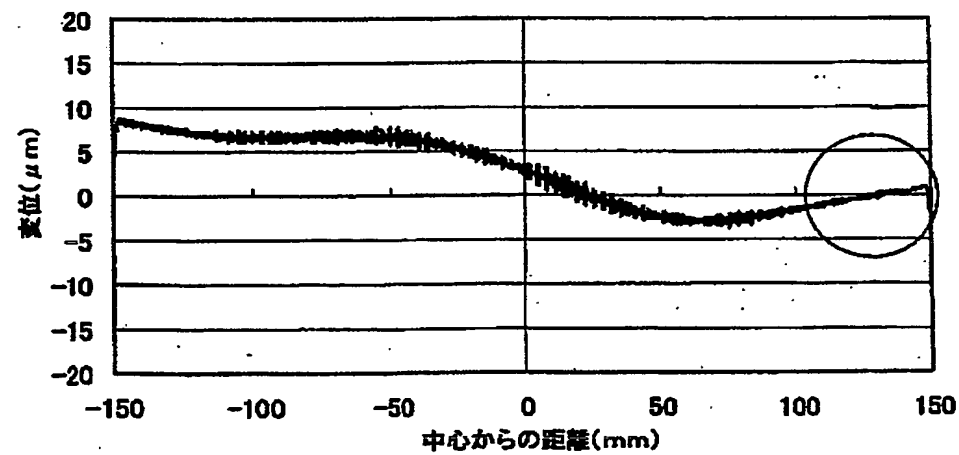
1 0 …変位計、 1 1、 1 2 …半導体ウエーハの形状評価装置。

【書類名】 図面

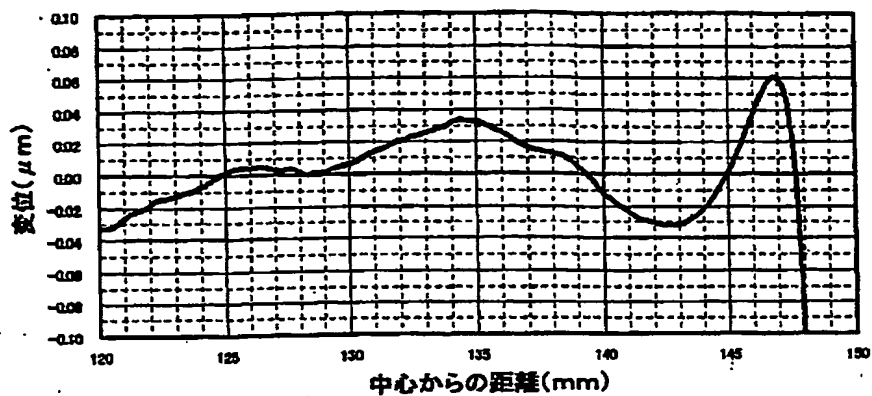
【図 1】



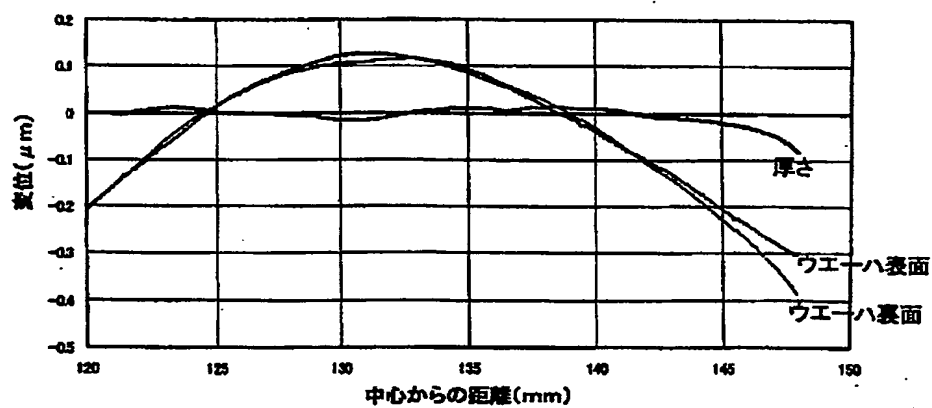
【図 2】



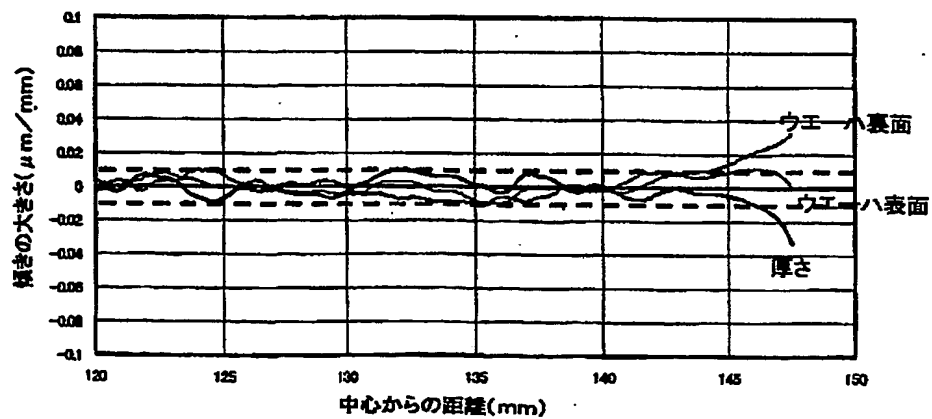
【図 3】



【図 4】



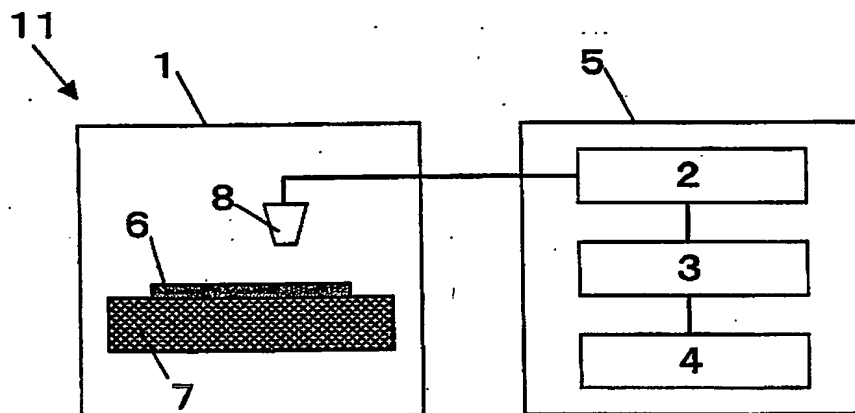
【図 5】



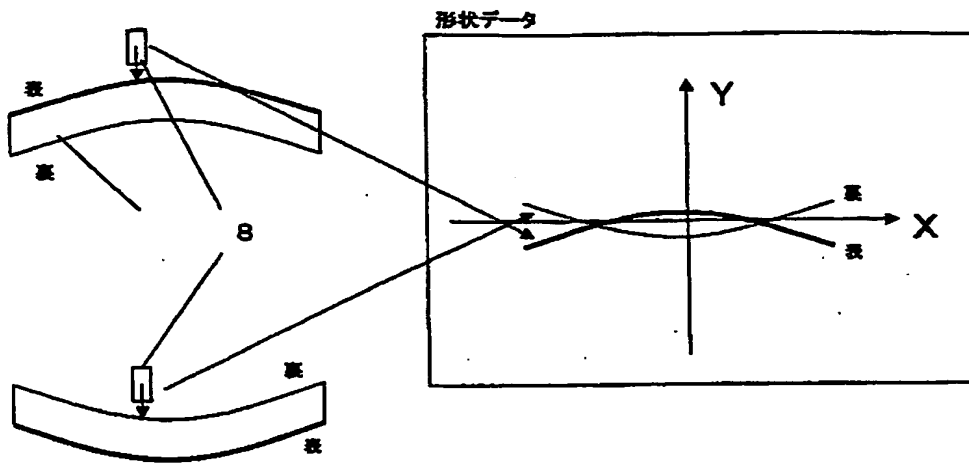
【図 6】



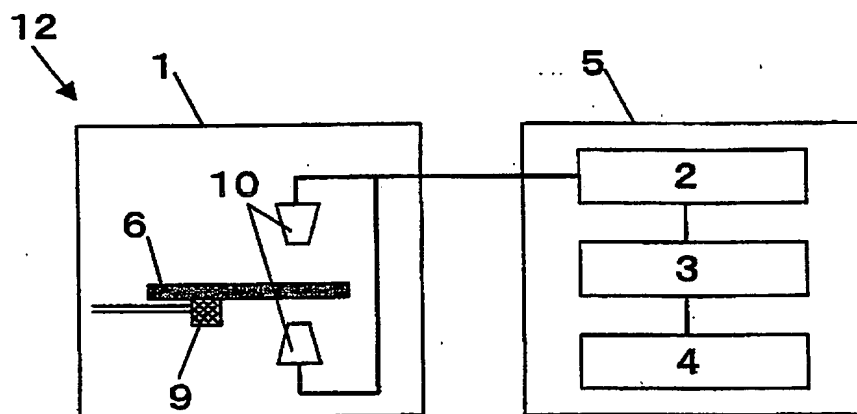
【図 7】



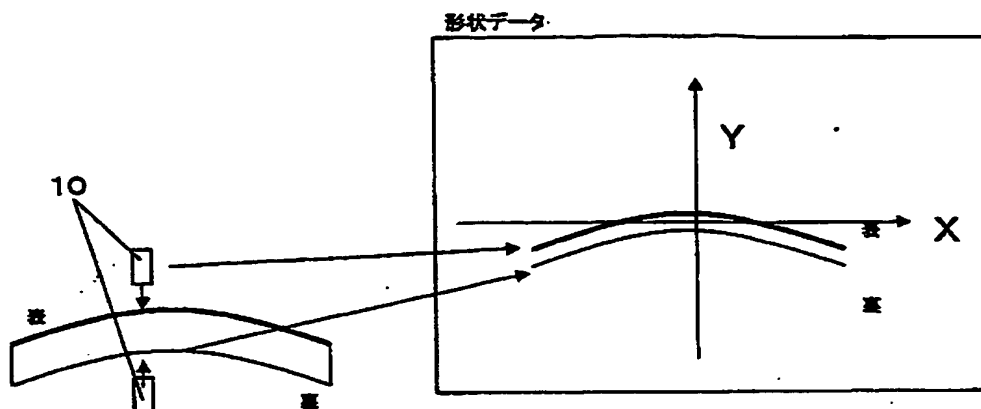
【図 8】



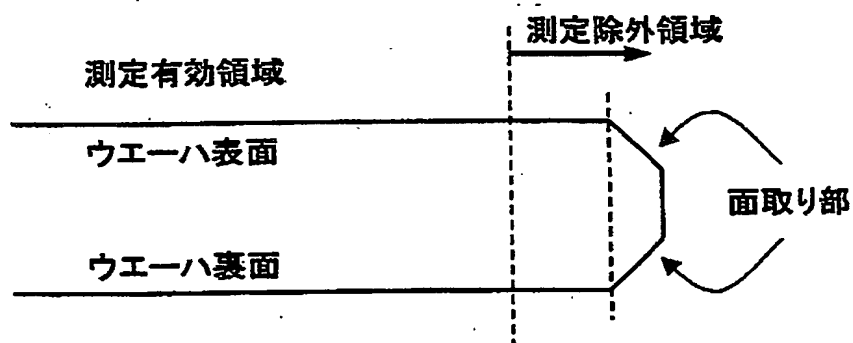
【図 9】



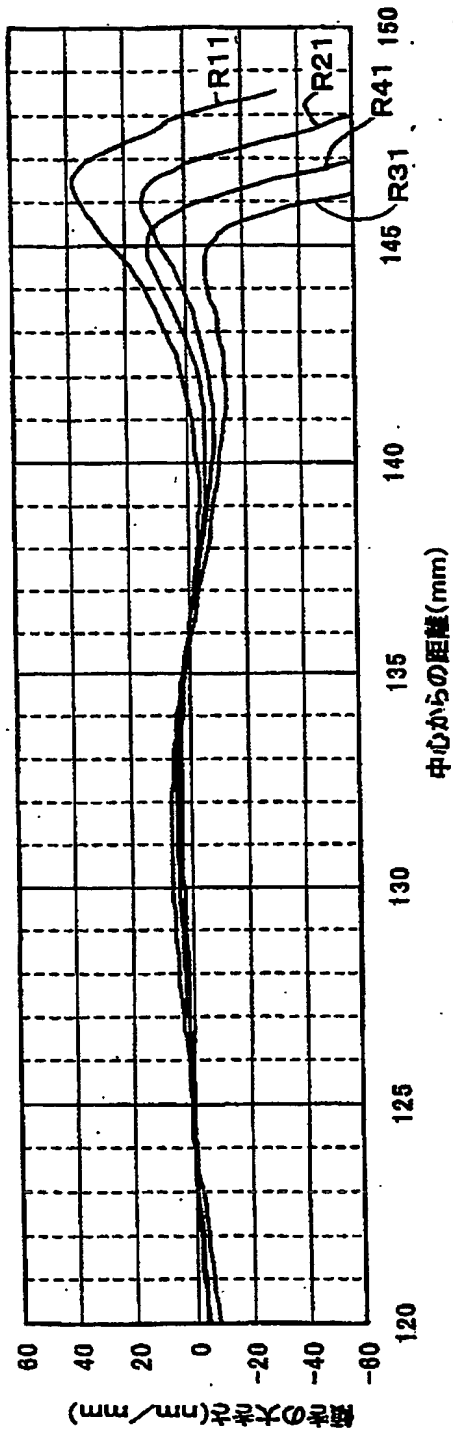
【図 10】



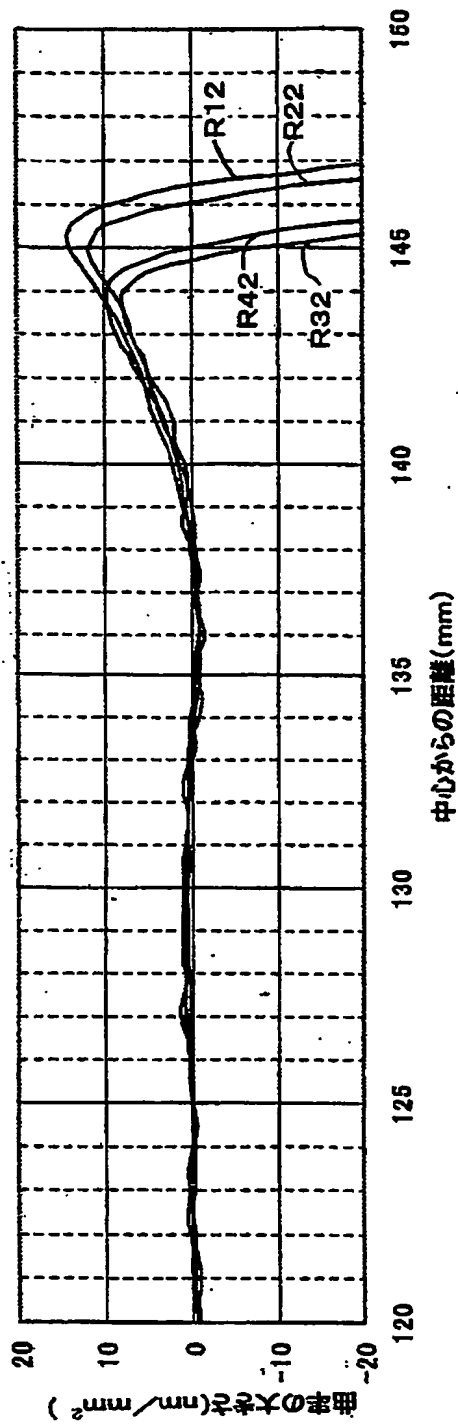
【図 11】



【図 12】



【図 13】





【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ウェーハの形状品質を従来のSFQR等とは異なる観点から、半導体ウェーハの形状、特にウェーハ外周部の形状を定量的に評価でき、かつ厳しいデザインルールの仕様に対しても的確に評価することができる半導体ウェーハの形状評価方法及び形状評価装置を提供する。

【解決手段】 半導体ウェーハの形状を評価する半導体ウェーハの形状評価方法であって、半導体ウェーハの表面及び／または裏面を走査して半導体ウェーハの形状データを測定し、測定した形状データを微分処理して微分プロファイルを算出し、得られた微分プロファイルの解析を行ってウェーハの表面特性を求めることにより半導体ウェーハの形状を評価することを特徴とする半導体ウェーハの形状評価方法。

【選択図】 図1

特願 2002-173268

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000190149]

1. 変更年月日

1990年 8月 7日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区丸の内1丁目4番2号

氏 名

信越半導体株式会社